

A kén szerepe a növények életében

I. A növényi kénanyagcsere-vizsgálatok mai helyzete

N. G. POTAPOV és FEJÉR DOMOKOS

Eötvös Loránd Tudományegyetem Növényélettani Intézet, Budapest

A kén helyzete a bioelemek között

A Mengyelejev-féle periódusos rendszer 92 eleme közül 15 elemre vonatkozóan minden kétséget kizáróan megállapították, hogy minden eddig vizsgálat alá vett növény teste felépítésében és életfunkciói fenntartása szempontjából nélkülözhetetlenek. Ezek az elemek, az ún. bioelemek nemcsak jelen vannak tehát a növény szervezetében, hanem a testét felépítő anyagok nélkülözhetetlen részei is. A víz alkotóelemein kívül a szén, nitrogén, foszfor, kálium, kén, magnézium, kalcium, vas a bioelemek legfontosabbjai. Ezeket az elemeket a növények különböző vegyületek alakjában veszik fel; egyedül az oxigént tudják elemi alakban is felvenni.

Az elemek közül a szén, az oxigén és a hidrogén anyagcseréjével a növényfiziológia több, különböző fejezete foglalkozik. A növényélettannak ismét külön fejezete, a növények ásványi táplálkozásával foglalkozó része tárgyalja a nitrogén, foszfor, kálium és újabban a kén felvételét a növény szervezetébe, a felvett vegyületeknek a növény testébe beépülése folyamatait és a növényben képződött vegyületek élettani szerepét.

A növények ásványi táplálkozásának a nitrogén-, foszfor- és káliumvegyületekkel foglalkozó tudományos irodalma szinte áttekinthetetlenül bőséges. A mezőgazdasági szakirodalom is majdnem kizárólag ezeket az elemeket tartalmazó műtrágyák alkalmazása és gyakorlati értéke kérdését tárgyalja. Az utóbbi évtizedekben a magnézium, vas és az ún. „nyomelemek” a réz, mangán, cink, bór, molibdén, stb. jelentőségét is felismerték. A növények ásványi táplálkozásával foglalkozó hatalmas irodalom-tömegben szinte meglepően kevés foglalkozik a kén és kénvegyületek növény-táplálkozási szerepével; jelentőségét nem ismerték fel, sőt sokszor lebecsülték a növény tápláló-elemei között. Első pillanatra talán meglepő is a kén ilyen elhanyagolt kezelése akkor, ha számításba vesszük azt a tényt, hogy régen tudják, hogy a kén szinte mindegyik természetes fehérjének nélkülözhetetlen alkotórésze és az első izolált aminosav (Wollaston, 1810) éppen a kén-tartalmú cisztin volt. A növényekben eddig ismeretessé vált kénvegyületek számát és a növény szárazanyagához viszonyított mennyiségét tekintve határozottan állíthatjuk, hogy a növény legkevésbé vizsgált táplálóeleme a kén. A kénvegyületek fiziológiai szerepét az utolsó 12–15 évben ismerték fel, s ezóta a kénanyagcsere vizsgálatok a kutatómunka homlokterébe kerültek.

A kén a növényekben

A növények kémiai összetétele megismerésére indított analitikai vizsgálatok a múlt század utolsó negyedében terjedtek ki a kén-tartalomra is. Azonban az akkor használatos hamu meghatározási módszerekkel nem kaphattak megfelelő, pontos eredményt; a magas hőmérsékleten végzett izzításnál a kén-tartalom igen jelentős része elveszett. A kutatók közül néhányan a kénvizsgálatot azzal a céllal végezték, hogy megállapítsák a növények kén-szükségletét (Schulze, [40] Fraps, [17, 18]). Az alkalmazott módszer tökéletlensége miatt kapott alacsony adatokból viszont a növények csekély kén-igényére következtettek.

A mezőgazdasági gyakorlatban sem találtak kifejezett kénhiánnyal — szemben a nitrogén-, foszfor- és káliumhiány okozta káros elváltozásokkal. Ebből a két tényből pedig: egyrészt a csekély kén-szükségletből és másrészt a kénhiány ismeretlenségéből érthető volt az a következtetésük, hogy a növény táplálóanyag-szükséglete biztosításához szinte minden talajban elegendő kén-tartalom áll rendelkezésre.

Az analitikai technika fejlődésének eredményeképpen bevezetett „nedves hamvasztás” vagy peroxidos ömlesztés módszere (pl. Halverson, [20]) azonban nyilvánvalóvá tette a korábbi tévedést és bebizonyosodott, hogy a növények kén-tartalma legalább kétszerese, de néha még százszorosa is a korábban feltételezettnek (Thomas et al [45]). Ezt a jelentős kémennyiséget azonban már nem tudja a növény bármely talajból biztosítani. A növények kén-tartalmának vizsgálata azzal a meglepő eredménnyel járt, hogy az iparvidékek közelében termő növény kén-tar-

talma többszöröse lehet az azonos növényfaj azonos korú de iparvidéktől távol fejlődő egyedei kántartalmának. Ez a tény a levegőben levő kántartalmú vegyületek biológiai jelentőségét mutatja.

A levegő kántartalmát mintegy 100 éve behatóan vizsgálják. Ezek az adatok azonban csak bizonyos megszorításokkal fogadhatók el, az alkalmazott technika, mintavételi, stb. nehézségek miatt.

A gyakorlati szükség sarkaló ereje hiányában a kénnek, mint a növény fejlődése szempontjából nélkülözhetetlen tápláló elemnek a növények életében betöltött szerepét is csak a múlt század utolsó évtizedében kezdték vizsgálni. Ezek a munkálatok Berthelot és André [4], Bogdanov [6], továbbá Dymond et al [12] nevéhez fűződnek. A növényben jelenlevő kénvegyületek vizsgálatával később is csak kevesen foglalkoztak. Szinte áttekinthetetlenül sok dolgozat foglalkozik a növények nitrogén-anyagcseréjével, azaz a fehérje-anyagcserével. Annak ellenére, hogy a kén a fehérjének ugyanannyira nélkülözhetetlen építő eleme, mint a nitrogén, a kénvegyületek szerepét sokáig alig érintették. Ennek az elhanyagolásnak okai között jelentős a kén-anyagcserévizsgálatok nehéz módszertana. Ha arra gondolunk — írja Mothes [32] —, hogy a salétromsav asszimilációjáról milyen kevés biztosat tudunk, érthetővé válik a növényfiziológus különösen nehéz helyzete a változó vegyértékű kén esetében, mert a kénnek sokkal több származéka lehetséges mint a nitrogénnek.

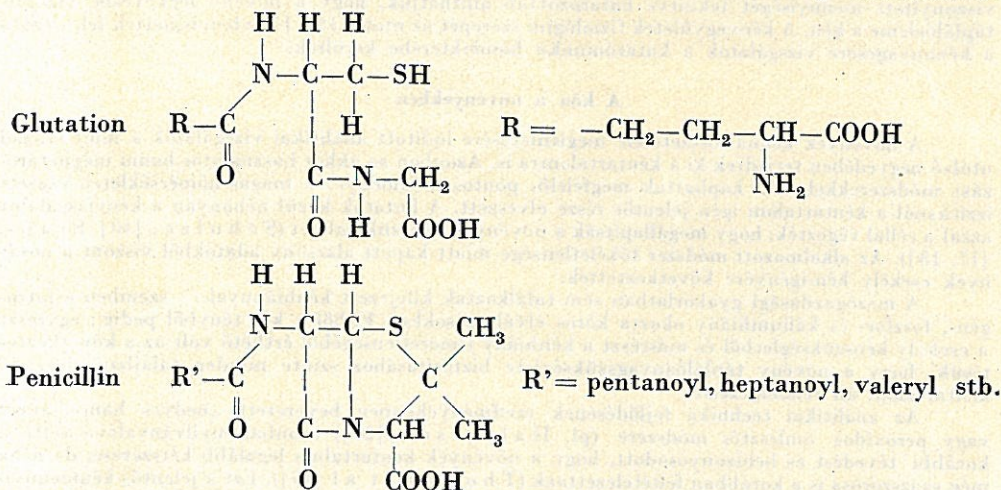
A különböző növénycsaládok tagjainak kántartalma erősen változik. Vannak olyan növénycsaládok — pl. a keresztesvirágúak és ezek közül a káposzta-félék rokonságának néhány tagja — amelyek magas kántartalmukról közismertek. A kén legnagyobb része a növényekben a fehérjében, különböző illó vegyületek és szulfátok alakjában fordul elő. A fehérjén belül a cisztein-cisztein és a methionin aminosavak kántartalmúak. Ezek az aminosavak minden növényben megtalálhatók. Ismeretes, hogy a növény szemben az állatokkal, a szulfátokat is fel tudja használni a kántartalmú aminosavak felépítésére; az állatok kántartalmú aminosav-szükségletüket teljesen a növényekből kénytelenek fedezni.

A növényekben jelenlevő kénvegyületek között jelentős helyet foglalnak el a thiamin (B₁-vitamin) és a biotin. Ezek a vegyületek esszenciálisak a növény anyagcserefolyamatai szempontjából; nélkülözhetetlenek az állati szervezetben is, de az állati szervezet ezeket az anyagokat sem tudja maga felépíteni.

Az illó kénvegyületek közül a mustárolajokat és a merkaptánokat említjük, melyek legtöbbje csak néhány növénycsaládban található. Ezek fiziológiai szerepe, keletkezésmódjuk, stb. nagyrészt ismeretlen. A mustárolajok a növényekben glukozidjaik alakjában találhatók. A *Tropaeolaceae* és a *Liliaceae* családok egyes fajai merkaptánokat, továbbá allil és vinilszulfidokat képeznek. A *Resedaceae*, *Capparidaceae*, *Umbelliferae* és néhány más növénycsalád speciális kénvegyületeket is szintetizálnak.

A kántartalmú növényi anyagokkal szemben erősen megnövekedett az érdeklődés azóta, mióta kiderült, hogy a penicillin is kénvegyület.

A glutationnak a penicillin bioszintézisében gyaníthatóan jelentős szerepe van, melyre Fischer hívta fel a figyelmet a glutation és a penicillin szerkezeti hasonlósága kimutatásával:



Egyes magasabbrendű növények baktericid hatását is kénvegyületeknek tulajdonítják (fitoncidok).

A növényekben levő anorganikus kén főleg szulfát alakban fordul elő. Bizonyos növényekben — bár ez még az adott növényfajra sem jellemző — az összes kén mennyiségének 65%-a szulfát alakú. A növények az elemi ként táplálkozási célokra nem tudják felhasználni; előbb valamilyen módon szulfáttá kell oxidálni, hogy a növény testében értékesülhessen. Reimer és Tartar [37] vizsgálatai szerint a különböző szulfátok — amennyiben kénforrásként alkalmazzuk — egyformán hatásosak.

A kén szerepe az enzimekben

Már említettük, hogy szinte minden természetben előforduló natív fehérjének nélkülözhetetlen alkotórésze a kén; így a növényi fehérjéké is. A növényekben megtalált kénvegyületek közül azonban csak a kéntartalmú aminosavak alkotórészei a fehérjének: a cisztein, cisztin és a methionin. A sokféle kénvegyület kimutatása és ezek biológiai szerepének tisztázására indított vizsgálatok is csak akkor kaptak igazi lendületet, amikor az enzimek -SH csoportjainak jelentőségét felismerték. A thiol-csoportok biológiai jelentőségére L. R a p k i n e [36] kísérletei hívták fel a tudományos világ figyelmét, aki azt észlelte, hogy az -SH csoportok épségének milyen jelentősége van a sejt osztódásában és növekedésében.

A thiol-vegyületek működésének részletesebb vizsgálata szerint jogos a thiol-vegyületeknek két csoportját megkülönböztetni: oldható thiol származékokat, (ezek legfontosabbika a glutathion) és oldhatatlanokat, tehát a fehérje-szerkezetéhez tartozókat. A glutathion minden sejtben való jelenléte és redox-rendszerének reverzibilitása miatt a sejt-respirációban betöltött szerepét igen behatóan tanulmányozták ugyan, de egyelőre véglegesnek mondható eredmény nélkül. Azt azonban egyértelműen bizonyították a vizsgálatok, hogy az oldható szulfhidrilvegyületek a sejtlégzés szabályozó mechanizmusának egyikeként szerepelnek. Több pozitívumot eredményezett a nem oldható, a fehérjeszerkezetbe zárt szulfhidril vegyületek tanulmányozása. Kiderült, hogy igen sok enzim aktivitásának lényeges tényezői az -SH csoportok; sok esetben az enzim-protein és az enzim aktív csoportja közötti összeköttetést, gyakran az enzim és specifikus szubsztátuma közötti kapcsolatot is az -SH csoportok létesítik.

Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményei (lásd pl. E. S. G. B a r r o n [3] és A. L. S z i n y i c i n a [44]) nagymértékben felkeltették az érdeklődést a kénvegyületek anyagcserevizsgálata iránt; mindinkább nyilvánvalóvá lett a kénvegyületek, különösen pedig a szulfhidril-csoportot viselő származékok döntő jelentősége, éppen a legfontosabb biokatalizátorok, az enzimek működése szempontjából.

Az utóbbi — mintegy 8 év folyamán azután a kén mindinkább kibontakozó jelentősége egészen meglepő módon bővült. A pantoténsav biokémiai jelentőségének és az acetilálással kapcsolatos detoxikációs folyamatoknak tisztázásával kapcsolatosan L i p m a n n [25] egy új koenzimet izolált, mely ugyancsak kéntartalmúnak bizonyult. Ez az új kéntartalmú vegyület a kénanyagcsere problémáját az érdeklődés homlokterébe állította, mert a több éven át hiába keresett és szinte misztifikált „aktív ecetsavval” való azonossága is bebizonyosodott. Az aktív ecetsav pedig az az összekötő kapocs, mely a respiráció anaerob és aerob szakaszát összeköti, mely a szénhidrát-anyagcsere és a zsíryanagcsere kapcsolatát biztosítja, mely a légzésfolyamatok és az energiát igénylő bioszintézis-reakciók egész sorával való összefüggést érthetővé teszi, amely segítségével ATP szintetizálható, stb. Az A-koenzim jelentőségét még tovább növelte az a megfigyelés, hogy nemcsak az acetil-csoport átvitelében van szerepe, hanem más acyl-csoportok transzfer-reakcióját is katalizálja.

A kén biológiai szerepéhez tartozóan még egy további igen jelentős kérdést kell kiemelnünk, bár a növényvilág területéről még csak kevés adatunk van erre vonatkozóan és ez a kérdés „a biológiai labilis metilcsoportok” kérdése. Ezt a kérdést az irodalomban az „aktív methionin”, vagy „aktív hangyasav” kérdése kifejezésekkel is jelölik. Ennek vagy ezeknek a vegyületeknek, illetőleg biokémiai folyamatoknak azért van különösen nagy jelentőségük, mert az életfontosságú aminosavak, purinszármazékok és más vegyületek felépítése ezek segítségével játszódik le.

A kénvegyületek szerepe a nitrogén és a foszfor anyagcseréjében

M o t h e s [31] élesztőkkel végzett kísérletei folyamán 1938-ban észlelte, hogy redukált organikus kénvegyületek, elsősorban a szulfhidril származékok a nitrát redukciója folyamatát befolyásolják és hatásukra jelentős nitrogénmennyiség gáz alakban elvész. Szoros összefüggést talált a nitrátredukció folyamata és a szulfhidril-vegyületek oxidációja között. Külön kiemeli a glutathiont, mely egyike a növényben lejátszódó asszimilatorikus és disszimilatorikus enzim-folyamatok irányát megszabó anyagoknak és ezek között a folyamatok között is kiemelkedő a nitrátredukciónál betöltött szerepe.

A nitrogén-anyagcserével kapcsolatos L e m o i g n e, M o n g u i l l o n és D e s v e a u x [26] a ma megfigyelése is, hogy az SH-glutathionhoz hasonlóan a cystein is redukálja a salétromosavat, mégpedig hidroxilamin és ammónia képződése közben.

H e i s e r i c h [21] kukoricánál és dohányynál észlelte, hogy a nitráttal táplált növények szulfátredukáló képessége sokkal gyengébb, mint az ammóniával tápláltaké. M o t h e s [31] széles-

körü vizsgálatokat kezdett a szulfátredukció folyamatai és a nitrogén-kén anyagcsere közötti összefüggések tisztázására, s ezek nem erősítették meg mindenben Heiserich adatait. A nitráttal táplált növényeknél azonban M o t h e s jelentős szulfát-többlet felvételt észlelt, amiből a nitrátredukció és szulfátredukció folyamatok közötti versengésre következett.

A kén- és nitrogénanyagcsere összefüggései között különleges jelentőségűnek ígérkezik a kénvegyületek szerepe a szimbiotikus nitrogén-fixálás folyamatában (A n d e r s o n és S p e n c e r [2]).

Szórványos adatok azt mutatják, hogy a szerves szabad metionin tartalmának változása a szervben folyó fehérje-szintézis, illetőleg lebomlás ütemével szoros kapcsolatban van, ezért a metionin tartalom változásából a fehérje-anyagcsereének szintézis, ill. lebomlás irányába folyó alakulására következtethetünk. A metioninnak a fehérje szintézisben csak sejttag jelenlétében mutatkozik meg ez a szerepe. Sejttag hiányában a felvett metionin teljes mennyisége vízzoldható alakban marad, fehérjévé nem épül be [27A]. Ilyen irányú vizsgálatok egyelőre csak az állati objektumokra vonatkozóan ismeretesek a szakirodalomban.

A világ minden táján behatóan tanulmányozzák a glutationnak a peptidek és gyaníthatóan a fehérjék szintézisében betöltött szerepét. Különösen jelentősek ezen a téren az enzimés transzpeptidáció megfigyelt reakciói; ezek során a glutation megfelelő enzimek jelenlétében szabad aminosavakkal reagál, majd a reakció termékeként γ -glutamyl-, illetőleg glycil-peptidek keletkeznek [20A].

A nitrogénkötéssel kapcsolatosan több megfigyelő a szulfhidril vegyületek szerepét jelentősen tartja.

Ezek a mozaikok a kén- és nitrogénanyagcsere szoros kapcsolatát világosan bizonyítják, bár a biokémiai mechanizmusra vonatkozóan alig néhány adat ismeretes (K y l i n [23]).

Ugyanilyen szorosak a kénanyagcsereének a foszforanyagcsereével való összefüggései is. Az élő szervezet — s ezek között a növényi is — az organikus szubsztrátumok oxidációja, a respiráció, biokémiai mechanizmusa során felszabaduló energia nagy részét könnyen újra mobilizálható alakban tudja megkötöni. Az energiát tároló, eme gyorsan mobilizálható vegyületek, az ún. makroergias vegyületek között az ATP egyike a leglényegesebbeknek, mely az energiát szolgáltató és az energiaigényes folyamatokat egymással összeköti. Kiderítetlen maradt azonban sokáig, hogy az oxidációval kapcsolatosan felszabaduló energia miképpen kötődik meg elsődlegesen és ebből milyen reakciósoron át képződik ATP. A foszforilezésnek két meglehetősen jól, élesen elválasztható útját ismerték fel: a szubsztrátfoszforilezés és a légzésláncfoszforilezés folyamatát. A szubsztrátfoszforilezés útjáról már voltak kísérletekkel alátámasztott adataink, bár sok részlet folyamat nem vált még ismeretessé. A légzésláncfoszforilezés folyamata viszont, mely az ATP-ben rendelkezésre álló energia nagy részét szolgáltatja, teljesen homályban maradt.

A kénanyagcsereével kapcsolatos vizsgálatok ezekre a folyamatokra is némi fényt vetettek. A glükolízis és erjedés egyetlen oxidatív folyamatánál, a foszfoglicerinaldehidből difoszfoglicerinsav keletkezik, melynek első szénatomjánál kialakuló nagyenergiájú foszfátkötés a dehidrogenáz -SH

csoportja és a glicerinaldehid $\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}\text{—}$ csoportja között elsődlegesen képződő termék foszforolízisének eredménye (R a c k e r és K r i m s k y, [35], S e g a l és B o y e r, [41]).

A kén és a respiráció

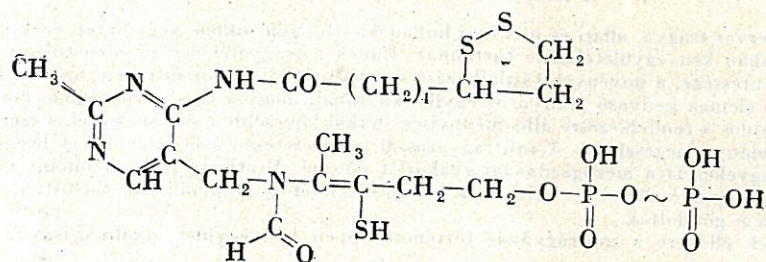
A foszfor- és kénanyagcsere kapcsolatai említésénél világosan megmutatkozott a respirációs folyamatokkal való szoros összefüggésük. A nagyenergiájú foszfátkötések képződésének részletei a kénanyagcsere ismeretessé válásával kerülnek napvilágra. Makroergias foszfátvegyületek mellett felismertük a makroergias kénvegyületek létezését és jelentőségét. A respiráció, a kapcsolt foszforilezés és a bioszintézisek reakcióiban a kéntartalmú koenzim-származékok jelentős és sokrétű szerepének tisztázása még hosszú kutatómunkát igényel. Megtudtuk, hogy az energia elsődleges fixálása tioéter-kötésben történik, ezeknek a tioéterkötéseknek bontása útján asszimilálódik a szerves foszfát, mely az ATP reszintézisének lehetőségét teremti meg (S a p o t [39]).

Az acetyl-KoA, ill. a szukcinil-KoA az a kéntartalmú vegyület, az a közös és általános jellegű intermedier, amely a disszimiláció folyamán a szénhidrátok, zsírsavak, egyes aminosavak átalakulnak, de ugyanakkor eredetétől függetlenül sok vegyület szénváza bioszintézisének alapanyaga is. A kénanyagcsere vizsgálatának eddigi eredményei is szemléltetően bizonyítják az anyagcsere egységét, itt láthatjuk igazán, hogy az anyagcsere komplex-folyamatának részfolyamatokra tagolása mennyire mesterkélt, milyen feltételesek a szénhidrát-, a zsír- és a fehérjeanyagcsere között megvont határok.

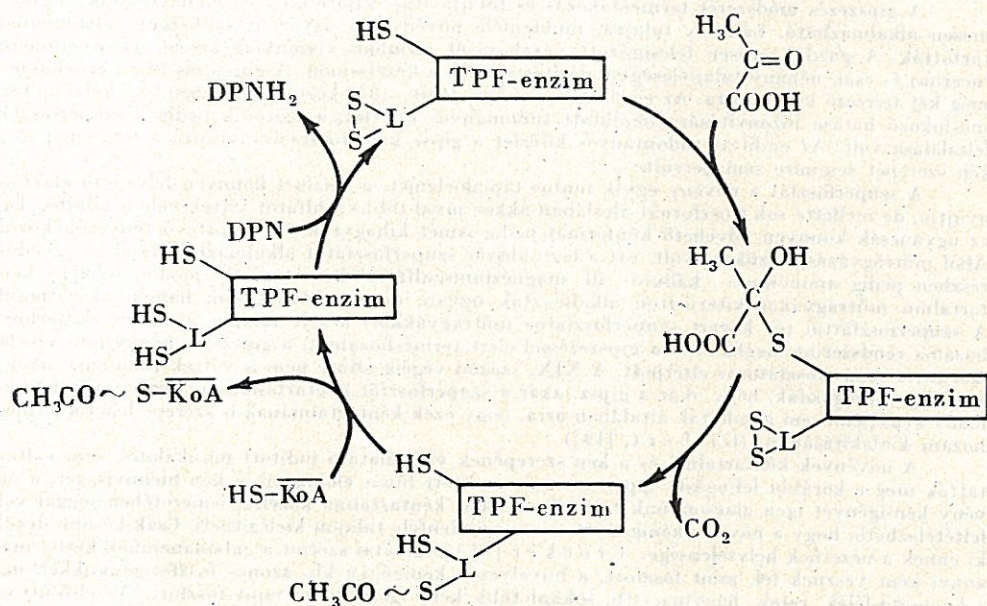
A kén és a vitaminok biológiája

A kénanyagcsere vizsgálatok felé fordítják figyelmünket azok a biokémiai tanulmányok is, melyeket a vitaminok biológiai működésének tisztázására indítottak. Nem csupán a már eleve is kéntartalmú thiamin, biotin kerülnek így módon új megvilágításba, hanem a ként nem tartalmazó pantoténsav, a pyridoxal, a B₁₂, stb. is.

A thiamin-pirofoszfátot tartották a legutóbbi időkig a karboxiláz enzim koenzimjének. A piroszőlősavdehidrogenázal kapcsolatos vizsgálatok a koenzim egy eddig nem ismert kéntartalmú oldalláncát derítették fel, ez az α -lipoesav (6, 8-dithiokaprilsav). Minthogy fiziológiai pH viszonyok között a thiamin elsősorban nyitott thiazolgyűrűs thiol alakban van jelen, a kokarboxiláz újonnan feltételezett kémiai szerkezete a következő:



A karboxiláz koenzime működését pedig a következő vázlat mutatja piroszőlősav esetében:



Jelzések:

TPF-enzim = Thiaminpirofoszfát-enzim

$-\text{L} \begin{smallmatrix} \text{S} \\ | \\ \text{S} \end{smallmatrix} = \alpha\text{-lipoesavdiszulfid}$

HS- = a thiazolgyűrű felhasadásakor keletkező szulfhidril-csoport.

A pyridoxal-foszfát koenzim biológiai szerepét a transzaminálási folyamatokban már jó ideje kimutatták, de az oxi- és kéntartalmú aminosavak felépítésében, ezek anyagcseréjében mutatóközpontját csak néhány éve bizonyították be az állati szervezetben. (Braunstein, A. J. e. [7]) A növényekre vonatkozóan ilyen bizonyítékokkal még nem rendelkezünk.

A kén ugyancsak nem tartalmazó pantoténsav működése is a kén-anyagcserével kapcsolatos, minthogy — mint korábban említettük — a pantoténsav az A-koenzim alkotórésze (Trufanov [47]).

Távolról sem merítettük ki témánk nyújtotta lehetőségeket, de nem is ez a magunk elé tűzött feladat; a kén növény-biológiai, biokémiai szerepének történetét kívántuk néhány színfolttal, néhány mozaikkal bemutatni a jelentéktelenségtől az életfolyamatok legfontosabbjág vezető úton.

A talaj kéntartalma és ennek változása

A szerves trágya, állati és növényi hulladék, stb. igen sokféle vegyületet, ezek között tekintélyes számban kénvegyületeket is tartalmaz. Ennek a trágyafélének minden túlzó egyoldalúságtól való mentessége, a növények táplálkozása szempontjából fontos nitrogén, foszfor, kén, kálium, stb. tápláló elemek kedvező aránya az egyik oka annak, hogy a mezőgazdaságban ma is nélkülözhetetlen. Sajnos a rendelkezésre álló mennyiség sokkal kevesebb a szükségletnél, s ezért műtrágyával kell a hiányt kiegészíteni. A műtrágyázással természetesen a legnagyobb és legszembetűnőbb hiányokat igyekezett a mezőgazdasági gyakorlat pótolni. Minthogy pedig kénhiány okozta betegség-tüneteket nem észlelték és a növény kénszükségletét is minimálisnak tartották, a kén külön pótlására nem gondoltak.

Ennek ellenére a műtrágyázás története éppen kénvegyület alkalmazásával, gipszszéssel kezdődik.

Alway [1] szerint a kéntrágyázás történetének három periódusát különböztetjük meg: 1. a gipszszézés időszakát (1750—1850 között), 2. a szuperfoszfát alkalmazásának időszakát (1840—1910) és 3. a modern periódust.

A gipszszézés módszerét természetfokozás és talajjavítás céljára kiterjedten használták; egyetemesen alkalmazható, bármely talajra, mindenféle növény alá egyaránt szükséges műtrágyának tartották. A gazdák erősen felcsigázott várakozását azonban viszonylag kevés növény (lóhere, lucerna) és csak néhány talajféleségen elégítette ki ez a kezelésmód. A gipszszézés utáni érdeklődést még két tényező lányhította. Az egyik tényező egy 1840—1844 között a gipszben levő kalcium természetfokozó hatása bizonyítására beállított tudományos kísérlet, a második pedig a szuperfoszfát feltalálása volt. Az említett tudományos kísérlet a gipsz kalciumára irányította a figyelmet és a kén szerepét semmire sem becsülte.

A szuperfoszfát a növény egyik fontos táplálóelemét, a foszfort könnyen felvehető alakban nyújtja, de mellette sok (foszfornál általában akkor jóval több) szulfátot vittek vele a talajba. Ezt az ugyancsak könnyen felvehető kénsókat pedig ismét kihagyták a számottevő tényezők közül. Ahol műtrágyázásra szükség volt, ott a legtöbbször szuperfoszfátot alkalmaztak, részben egyedül, részben pedig ammónium-, kálium-, ill. magnéziumszulfáttal keverten. Ily módon tehát a kéntartalmú műtrágyákat kiterjedten alkalmazták ugyan, de nem tudatosan, hanem akaratlanul. A szuperfoszfáttal (és kevert szuperfoszfátos műtrágyákkal) kezelt talajon a növények terméshozama rendszerint meghaladta a gipszszéssel elért terméshozamot, a gipszszézés gyakorlata visszaszorult, a szuperfoszfátosítás elterjedt. A XIX. század végéig szinte nem is vettek tudomást arról a gyakorló mezőgazdák, hogy akár a gipsz, akár a szuperfoszfát kéntartalmú anyagok; még a tudomány képviselői sem gondoltak általában arra, hogy ezek kéntartalmának is szerepe lehet a termés-hozam kialakításában. (Gilbert, [19]).

A növények kéntartalma és a kén szerepének vizsgálatára indított munkálatok sem változtatták meg a korábbi felfogást, éppen mert az említett hibás elemzések a kén mennyiségét, a növény kén-igényét igen alacsonynak találták. A talaj kéntartalma közelítő ismeretében joggal volt feltételezhető, hogy a növény kénigényét szinte mindenféle talajon kielégítheti. Csak később derült ki ennek a nézetnek helytelensége. Crocker [9] vizsgálatai szerint a gabonaművek kétharmad annyi ként vesznek fel, mint foszfort, a hüvelyesek kénigénye kb. azonos foszforigényükkel, míg a káposzta-félék, retek, hagyma, stb. sokkal több ként igényelnek, mint foszfort. Az első üttörő kutatások keserves munkáját sokan ellenőrzik és hasonló következtetésre jutnak. Általánosan felismerik a kén szerepét a növény táplálóelemei között. A növény-táplálkozásban a speciális kénhiány-tünetek ismeretlensége miatt még ma is másodrangú fontosságú elemnek tartják a ként, pedig az U. S. A. minden növényére vonatkozó átlagos táplálóelemarány Mehring és Bennett [29] adatai szerint $0,3 \text{ SO}_3 : 0,6 \text{ K}_2\text{O} : 0,4 \text{ P}_2\text{O}_5 : 1,0 \text{ N}$. Ez pedig annyit jelent, hogy a terményekkel a talajból kivont kén mennyisége azonos nagyságrendű a foszforéval.

A talaj eredeti kéntartalma — mely a talajképző kőzetekből, a szálló porból, talajvíz szulfát-tartalmából származik — kiegészül a levegőből az esővízzel bemosott kénvegyületekkel és a trágya, műtrágya kéntartalmával. A talaj kénmennyiségét azonban nemcsak a kultúrnövények fogyaszt-

ják, hanem egy része az öntözővízzel kimosódik, másik jelentős részét pedig a mikroorganizmusok bontják el. (A felvehető szulfátból H_2S képződik, mely a talaj vastartalmával fel nem vehető Fe_2S_3 -á alakul.)

A talaj összes kén tartalmában beálló évi veszteség mindig sokkal több, mint az összes foszfor veszteség — még a növény táplálékanyag igényére tekintet nélkül is — mert a kilúgozás, erózió, kémiai bomlás sokkal több kén von el a talajból, mint foszfort. Egészen megdöbbentőek az erre vonatkozó korszerű adatok (Lipmann és Conybeare, [24]; Bizzell, [5]; Lyon és Bizzell, [27]; Alway, [1]). A kénvesztés különösen az öntözött talajoknál emelkedik rohamosan. Ugyancsak az előbb említett amerikai szerzők 370 millió acre területre vonatkozó adataiból (magyar vizsgálatokat erre vonatkozóan nem ismerünk) megállapítható, hogy a termés acenként 2,8 pound kén kerül el a talajból, míg 3,8 pound az a foszformennyiség, melyet a termésről vonunk ki. A talaj átlagos acenkénti kénvesztése trioxidban kifejezett összes kén tartalom ezzel szemben 40 pound körüli érték, míg a foszforvesztés alig jön számításba: a kénvesztés 95-szöröse a foszforvesztésnek.

A különböző úton pótoltt kénvegyületek ellenére Shedd [42] azt állapítja meg, hogy a termőtalajok eredeti kén tartalmuknak 20–40%-át veszítették el egy generáció alatt. Woodward [48] megállapításai szerint a legtöbb összes-kén tartalmazó termőtalaj 39 évig fedezi a lucerna, 355 évre a búza, 232 évre a kukorica kén szükségletét, míg a legkisebb kén tartalmú termőtalaj a lucerna kén szükségletét 5 évig, a búzáét 46, a kukoricáét 30 évig tudná biztosítani. Woodward azonban kettős hibát is vétett számításaiban. Egyrészt az összes kén mennyiségét mérte, s ebből nem vonta le a felvehető — pl. szulfidkén — mennyiségét, másrészt a növények kén szükségletét még a régi alacsony értékkel számolta.

Meglehetősen sok közlemény foglalkozik annak a ténynek mérlegelésével, hogy a kén-trágyázás eredményeként termésfokozást észleltek még olyan talajon is, ahol a növény szükségletét biztosító kén mennyisége már eleve meg volt a talajban (Cross, [10]; Duley, [11]; Kosutány [22] McKibben, [28]; Roux, [38]). Később ezeket az eredményeket az optimális pH beállításának, illetőleg annak tulajdonították, hogy a táplálékanyag szükséglet elemei arányosabb mennyiségben juthattak a növénybe, továbbá annak, hogy a szulfát a mikroelemek mozgékonyaságát is kedvezően befolyásolja.

Megfigyelték, hogy a kénnel kezelt növények gyökerei többszörösen akkorák lehetnek, mint a kén szegény talajon fejlődőké. Crocker [9] ezzel kapcsolatosan azt a véleményét nyilvánítja, hogy a szuperfoszfát alkalmazásakor gyakran megfigyelt intenzív gyökérfejlődés nem tulajdonítható kizárólag a foszfornak, abban jelentős szerepe van a kénnek is.

A növénytermelők gyakorlati tapasztalata szerint a nagy protein-tartalmú növények élénkebben válaszolnak a kén trágyázásra, rajtuk feltűnőbb változás figyelhető meg, mint a többi növényeknél. Az irodalomban elég sokan foglalkoztak a kén trágyázásnak a hüvelyesekre gyakorolt hatásával. Sok esetben nemcsak a növény növekedését fokozta a kénvegyület, hanem a fehérjetartalom emelkedése is megfigyelhető volt (Brown, [8]; Miller, H. G., [30]; Neller, [33]. Tottigham [46]) a hüvelyesek kénhiánya esetén a protein-szintézis csökkenését és növekedésük, fejlődésük visszamaradását észlelte.

Szabadföldi kísérletek eredménye szerint a kén trágyázás elősegítette a hüvelyesek gyökerén fejlődő gumók növekedését és növelte a fejlődő gumók számát. A szulfáttal trágyázott hüvelyesek nitrogén-tartalma emelkedett a szulfáttal nem trágyázottakéhoz képest, míg az ugyanilyen kezelés hatására a repce levélerezetének elhalványodása. Ha a növény nagymennyiségű szulfátot vett fel.

A kén-trágyázás a talajok mikroflóráját is erősen befolyásolta; aszerint, hogy sok organikus anyagot tartalmazó talajt, vagy organikus maradékokban szegény talajt kezeltek, más és más volt a hatás (Fife, [15]).

Kénhiány tünetei

Említettük, hogy a növények kénhiányára *specifikus* tüneteket nem észleltek. Tünetek termésszerszerűleg vannak, de ezek hasonlóak a nitrogénhiány kórképére. Ez valószínűleg a kénnek a proteinképződéssel és a klorofill-bioszintézissel való összefüggésének a következménye. Eaton [13] megfigyelte, hogy a kénhiány miatt rendellenesen halványzöld színű növények az aljuk szőrt gipsz, sőt elemi kén hatására is hamarosan egészséges sötétzöldekké válnak, a klorofill-tartalmuk pedig (Powers, [34]) mintegy 18%-kal növekedett. A kénhiány egyik első jele tehát a fiatal levelek és ezek levélerezetének elhalványodása. Ha a kénhiány tovább tart, vagy erősebb fokú, akkor az idősebb levelek is halványodnak, de a nitrogénhiány tüneteivel ellentétben az alsóbb levelek sem száradnak el.

A kénhiány kóros tünetei a növény anyagcseréjének megváltozásában is megmutatkoznak: magasabb lesz nitrogén-tartalmuk, keményítő-tartalmuk, de csökken a cukor- és fehérje-kén-tartalmuk az egészségesekhez, az elegendő kén tartalmazókhöz képest. (Eaton, [14]). A kénhiányos növények sejtjára vastag, s a rost és lignifikált rész viszonylag sok benne. A narancsnál a kénhiány

tünetei között észlelték, hogy az éréskor a gyümölcsök nem lesznek mély narancssárga színűek, kevesebb a leve és abnormálisan vastag a narancs héja.

Paradicsommal végzett vizsgálatok esetében nagyjából ugyanazok a külső tünetek jelentkeznek kén hiányakor is, mint amikor a nitrogén hiányzik. A gyökerek is, a száruk is rendkívül kis átmérőjűek lettek; a száruk erősen elfásodtak, míg hosszönvekedésükben — bár nem érték el az egészségesek hosszát — nem maradtak vissza jelentősen. A kénnel rendszeren ellátottakhoz képest nitrát és polyszaccharid tartalmuk rendkívül magas értékű volt, mert a kénhiányos növényekben egyrészt a nitrát-redukció másrészt a szénhidrát-oxidáció üteme lényegesen lassúbbá vált. A szulfáthiányos paradicsom növény sejtfalai erősen megvastagodtak és viszonylag több volt a rost és lignifikált részek aránya bennük, mint a helyesen tápláltakban. A protoplasma vizsgálata is nagyon hasonló eredményt adott a nitrogénhiányos növény protoplasmájához. Feltehetően a szulfhidril-vegyületek hiánya miatt a kénmentesen táplált paradicsom növényeknek gyakorlatilag nem volt aktív kambiumuk. A proteolízis rendszerint a tartalék szénhidrátok csökkenésével jár együtt, azonban a szulfátmentes paradicsomok mindig igen sok szénhidrátot tartalmaztak, míg komplex fehérjéik egyszerűbb kéntartalmú vegyületekre, aminosavakra, asparaginra stb. bomlottak le; a proteolízis szinte sohasem vezetett szulfhidril vegyületek képződésére.

Egyetlen hiánybetegséget ismernek, amely specifikusan a kénhiány következménye, s ez a „tea-sárgulás”-nak nevezett Nyassza földön ismert növénybetegség. (Forbes, [16]; Storey és Leach, [43]). A felvehető alakban és elegendő mennyiségben alkalmazott bármely kénvegyület megszünteti a „tea-sárgulás” betegséget.

A kén és kénvegyületek növénytáplálkozási szerepének tisztázása — mint a fentiekből kivehető volt — nem egyszerű tudományos feladat csupán, hanem a mennyiségi és minőségi növénytermelés időszerűvé vált, parancsolóan szükséges követelménye. Intézetünk kutatómunkája, az 1954. évi termelési időnyben már kiterjedt a kénanyagcserével kapcsolatos vizsgálatokra is. Kutatómunkánk a mezőgazdasági kutatóintézetekben folyó, közvetlenül a gyakorlatot szolgáló munka elméleti alapját kívánja megteremteni. Különösen a rizstermeléssel és egyes zöldségfélék termelésével kapcsolatosan várható a kénanyagcsere vizsgálatától pozitív gazdasági eredmény.

Érkezett: 1955. március 1.

Irodalom

- [1] Alway, F. G.: A nutrient element slighted in agricultural research. J. Amer. Soc. Agron. **32**. 913—921. 1940.
- [2] Anderson, A. J. & Spencer, D.: Molybdenum and sulfur in symbiotic nitrogen fixation. Nature. **164**. 273. 1949.
- [3] Barron, E. S. G.: Thiol groups of biological importance. Adv. Enzymol. **11**. 201. 1951.
- [4] Berthelot, P. & André, S.: Sur la silice dans les végétaux. C. r. Soc. biol. Paris. **112**. 122. 1891.
- [5] Bizzell, J. A.: Removal of plant nutrients in drainage waters. J. Amer. Soc. Agron. **18**. 130. 1926.
- [6] Bogdanov, S. M.: (A növények kéntartalma.) Jour. Russ. Phys-Chem. Soc. **31**. 471—477. 1899.
- [7] Braunstejn, A. Je.: (A B₆-vitamin funkciói az aminosav-anyagcserében.) Uszp. szovr. biol. **35**. 26—56. 1953. (Magyarul: Orvostud. Dok. Közp. Biológia (orvos). (1954. július.)
- [8] Broun, G. G.: Alfalfa fertilizers. Oreg. Agr. Exp. Sta. Bull. **141**. 55—57. 1917.
- [9] Crocker, W.: The necessity of sulfur carriers in artificial fertilizers. J. Amer. Soc. Agron. **15**. 129—141. 1923.
- [10] Cross, W. E.: Sulfur as a cane fertilizer. Facts about sugar. **21**. 688—689. 1926.
- [11] Duley, F. L.: The relation of sulfur to soil productivity. J. Amer. Soc. Agron. **8**. 154—160. 1916.
- [12] Dymond, T. S. et al.: The influence of sulfates as manure upon the yield and feeding value of crops. J. Agric. Sci. **1**. 217—229. 1905.
- [13] Eaton, S. V.: Sulfur content of soils and its relation to plant nutrition Bot. Gaz. **74**. 32—58. 1922.
- [14] Eaton, S. V.: Influence of sulfur deficiency on metabolism of the Sunflower. Bot. Gaz. **102**. 536—556. 1941.
- [15] Fife, J. M.: The effect of sulfur on the microflora of the soil. Soil. Sci. **21**. 245—252. 1926.
- [16] Forbes, A. P. S.: The „Yellow” deficiency disease of tea. Nyasaland Agr. Quart. Jour. **2**. 20—26. 1942. Rev. Appl. Mycology **22**. 42. 1943.
- [17] Fraps, G. S.: Report on loss of sulfur in preparing ash of plants. Proc. Assoc. Off. Agr. Chem. Div. Chem. U. S. Dept. Agr. Bull. **62**. 1900.

- [18] *Fraps, G. S.* : The determination of sulphur in plants. *J. Amer. Chem. Soc.* **24**. 346. 1902.
- [19] *Gilbert, J.* : The Place of Sulfur in Plant Nutrition. *Bot. Rev.* **17**. 671. 1951.
- [20] *Halverson, J. O.* : Modified Benedict method for the estimation of sulfur in feeds, feces and foods. *J. Amer. Chem. Soc.* **41**. 1494—1503. 1919.
- [20A.] *Hanes, C. S., Hird, F. J. R. & Isherwood, F. A.* : Enzymic transpeptidation Reactions Involving γ -Glutamyl Peptides and α -Amino-acyl Peptides. *Biochem. J.* **51**. 25. 1952.
- [21] *Heiserich, E.* : Untersuchungen über den Schwefelstoffwechsel an Mais und Tabak. *Z. Pfl.-Ernähr. Düng.* **37**. 3. 1935.
- [22] *Kosutány, T.* : A kén termésközpont hatása. *Köztelek* **13**. 193. 1913.
- [23] *Kylin, A.* : The Uptake and Metabolism of Sulphate by Deseeded Wheat Plants. *Physiol. Plant.* **6**. 775. 1953.
- [24] *Lipman, J. G. & Conybeare, A. B.* : Preliminary note on the inventory and balance sheet of plant nutrients in the US. *N. J. Agr. Exp. Sta. Bull.* 607. 1936.
- [25] *Lipmann, F.* : On Chemistry and Function of Coenzyme-A. *Bact. Rev.* **17**. 1—17. 1953.
- [26] *Lemoigne, M., Monguillon, P. & Desveaux, R.* : Réduction de l'acide nitreux par la cystéine et le glutathion. *C. R. Acad. Sci.* **206**. 947. 1938.
- [27] *Lyon, T. L. & Bizzell, J. A.* : The loss of sulphur in drainage water. *J. Amer. Soc. Agron.* **8**. 88—91. 1916.
- [27A.] *Mazia, D. & Prescott, D. M.* : Protein Synthesis in the Cell Nucleus. *Nature* **175**. 300. 1955.
- [28] *McKibben, R. R.* : The effect of sulphur on soils and crop yields. *Md. Agr. Exp. Sta. Bull.* **296**. 69—114. 1928.
- [29] *Mehring, A. L. & Bennett, G. A.* : Sulfur in fertilizers, manures and soil amendments. *Soil. Sci.* **70**. 73. 1950.
- [30] *Miller, H. G.* : The relation of sulfates to plant growth and composition. *J. Agr. Res.* **17**. 87—102. 1919.
- [31] *Mothes, K.* : Neuere Untersuchungen auf dem Gebiete des Eiweißstoffwechsels. *Forschungsdienst* **5**. 219. 1938.
- [32] *Mothes, K.* : Über den Schwefelstoffwechsel der Pflanzen. *Planta* **29**. 67—109. 1939.
- [33] *Neller, J. R.* : Effect of sulfur on the nitrogen content of legums. *Industr. Engng. Chem.* **18**. 72—73. 1926.
- [34] *Powers, W. L.* : The role of sulfur in plant nutrition. *Oreg. Agr. Exp. Sta. Bien. Rep.* 1929—30 : 46. 1930.
- [35] *Racker, E. & Krimsky, J.* : The mechanism of oxidation of aldehydes by glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase. *J. Biol. Chem.* **198**. 731. 1952.
- [36] *Rapkine, L.* : Sur les processus chimiques au cours de la division cellulaire. *C. R. Acad. Sci.* **191**. 871. 1930.
- [37] *Reimer, F. C. & Tartar, H. V.* : Sulfur as a fertilizer for alfalfa in southern Oregon. *Oreg. Agr. Exp. Sta. Bull.* **163**. 5. 1919.
- [38] *Roux, E.* : Recent experiments of the agronomic institute on the fertilizing action of sulfur. *C. R. Acad. Agric.* **14**. 616—621. 1928.
- [39] *Sapot, V. Sz.* : (Az oxidációs folyamatok, a kapcsolt foszforilezés és sejt bioszintéziseinek kölcsönös összefüggései.) *Uszp. szovr. biol.* **37**. 255—278. 1954. (Magyarul : Szovj. Orv. Ref. Szemle : Ált. biol. 1954. december.)
- [40] *Schulze, E.* : Zur Kenntnis des Vorkommens von Allantoin, Asparagin, Hypoxanthin und Guanin in den Pflanzen. *Z. physiol. Chem.* **9**. 616. 1885.
- [41] *Segal, H. & Boyer, P.* : The role of sulphydryl groups in the activity of D-glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase. *J. Biol. Chem.* **208**. 265. 1953.
- [42] *Shedd, O. M.* : The relation of sulphur to soil fertility. *Ky. Agr. Exp. Sta. Bull.* **188**. 595—630. 1914.
- [43] *Storey, H. H. & Leach, R.* : A sulfur deficiency of the tea bush. *Ann. Appl. Biol.* **20**. 23—56. 1933.
- [44] *Szinyicina, A. L.* : A glutathion-anyagszere és a glutathion biológiai funkciói. *Uszp. Szovr. biol.* **35**. 313. 1953. (Magyarul Orvostud. Dok. Közp. Ált. biol. 1954. szept. 1—2.)
- [45] *Thomas, M. D. & al.* : Sulfur content of vegetation. *Soil. Sci.* **70**. 9. 1950.
- [46] *Tottingham, W. E.* : The sulphur requirement of the red clover plant. *J. Biol. Chem.* **36**. 429—438. 1918.
- [47] *Trufanov, A. V.* : (A pantoténsav biokatalitikus tulajdonságai, az A-koenzim funkciói.) *Uszp. szovr. biol.* **37**. 33—43. 1954.
- [48] *Woodward, J.* : Sulfur as a factor in soil fertility. *Bot. Gaz.* **73**. 81—109. 1922.

РОЛЬ СЕРЫ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ I. СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРНОГО ОБМЕНА РАСТЕНИЙ

Н. Г. Потапов и Д. Фейер

Кафедра физиологии растений Университета им. Л. Этвеша, Будапешт (Венгрия)

Резюме

Авторы приводят краткий исторический обзор исследований серного обмена растений. Изучение серного обмена в настоящее время находится в центре внимания исследовательской работы. Выяснение роли серы в жизнедеятельности растений — несмотря на теоретический интерес — является насущным требованием современного растениеводства.

Sulphur in the Life of Plants

I. The Present Situation in Investigations Concerning Sulphur Metabolism in Plants

N. G. POTAPOV and D. FEJÉR

Institute for Plant Physiology, L. Eötvös University, Budapest (Hungary)

Summary

A brief survey is given of the research work to date. It is pointed out that interest now centers around sulphur metabolism. Apart from being of theoretical importance, clarification of the part played by sulphur in plant nutrition is a justified requirement of up-to-date plant growing.